

## Первичные электрические сигналы в системах электросвязи

В системах электросвязи различают следующие виды сигналов: непрерывный непрерывного времени (аналоговый); непрерывный дискретного времени (дискретизированный); дискретный непрерывного времени (квантованный); дискретный дискретного времени.

Непрерывные сигналы непрерывного времени называются непрерывными (аналоговыми) сигналами. Такие сигналы могут принимать любые значения по амплитуде из непрерывного множества значений и изменяться в любые моменты времени. Амплитуда непрерывного сигнала дискретного времени может принимать любое значение, но изменения могут происходить только в определенные, т.е. дискретные моменты времени. Дискретные сигналы непрерывного времени изменяют амплитуду в произвольные моменты времени, но ее величина принимает только разрешенное значение. Дискретные сигналы дискретного времени, или дискретные сигналы, изменяются только в дискретные моменты и могут принимать только конкретные разрешенные значения.

Любой периодический сигнал может быть представлен в виде суммы гармоник, амплитуды которых определяются формой сигнала:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)). \quad (1)$$

Значения  $a_0$ ,  $a_n$  и  $b_n$  вычисляются по соответствующим формулам:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^{T_u} S(t) dt,$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^{T_u} S(t) \cos(n\omega t) dt,$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^{T_u} S(t) \sin(n\omega t) dt,$$

где  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  – период колебаний ( $\omega = 2\pi f$ ).

Для передачи информации сигналы электросвязи изменяют значения своих электрических параметров: мощности, напряжения, тока. Чтобы охарактеризовать пределы изменения значений, вводятся понятия динамического диапазона и пик-фактора сигнала. При этом для сравнения мощностей сигналов, пользуются логарифмическими единицами – децибелами (дБ). Динамический диапазон сигнала, измеряемый в дБ, определяется выражением:

$$D = 10 \lg \left( \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \right), \quad (2)$$

где  $P_{\max}$  и  $P_{\min}$  – максимальное и минимальное значения мгновенной мощности. Пик-фактором сигнала называют отношение его максимальной мощности к средней ( $P_{\text{cp}}$ ). В логарифмических единицах:

$$Q = 10 \lg \left( \frac{P_{\max}}{P_{\text{cp}}} \right). \quad (3)$$

В некоторых случаях динамический диапазон и пик-фактор могут быть заданы не в логарифмических, а в абсолютных единицах.

Для измерения изменения уровня мощности сигнала при передаче по линии связи используют понятие уровня сигнала. Уровень сигнала определяется относительно какой-либо величины. Например, если известны два значения мощности  $P_1$  и  $P_2$ , то их отношение, выраженное в децибелах, определяет уровень сигнала по мощности, как:

$$p = 10 \lg \left( \frac{P_1}{P_2} \right)$$

На практике, сравнение двух сигналов путем сравнения их мощностей не всегда бывает удобным. Поэтому при работе с аппаратурой гораздо проще измерять не мощность, которая выделяется на нагрузке, а падение напряжения на ней, а в некоторых случаях – пропускаемый ток. В таком случае уровни сигналов по току и напряжению можно представить, как:

$$p_{\text{т}} = 20 \lg \left( \frac{I_1}{I_2} \right) \text{ и } p_{\text{н}} = 20 \lg \left( \frac{U_1}{U_2} \right)$$

Для измерения объема информации, переносимой первичным электрическим сигналом, используется понятие информационной емкости сигнала, т.е. количество информации, переносимой сигналом в единицу времени, измеряемая в бит/с.

Для непрерывного (аналогового) сигнала информационная емкость определяется по формуле:

$$I = \Delta F \log_2 \left( 1 + \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{п}}} \right), \quad (4)$$

где  $\Delta F$  – ширина спектра сигнала;

$P_{\text{с}}$  – средняя мощность сигнала;

$P_{\text{п}}$  – мощность помехи.

Для дискретного сигнала информационная емкость определяется, как

$$I = -f \sum_{i=1}^k p_i \log_2 p_i, \quad (5)$$

где  $f = I/T$  – тактовая частота, численно равная скорости передачи, т. е. число

импульсов в секунду;

$T$  – период следования импульсов (такты́ый интервал);

$k$  – число разрешенных значений (уровней), которые может принимать дискретный сигнал;

$p_i$  – вероятность появления сигнала с амплитудой равной значению  $i$ -го уровня.

Для передачи информации по сетям электросвязи необходимо обеспечить преобразование первичных сигналов форму пригодную для передачи по определенной среде. Процедура преобразования первичных сигналов, при которой производится воздействие изменений первичного сигнала на параметры несущего сигнала, называется модуляцией. В качестве несущего сигнала используется гармоническое колебание высокой частоты, что обусловлено тем, что с ростом частоты сигналов увеличивается энергия колебаний, что в свою очередь приводит к увеличению расстояния распространения сигнала.

При амплитудной модуляции первичный сигнал воздействует на амплитуду несущего колебания. Если первичный сигнал представить, как  $U(t) = U \cos(\Omega t)$  ( $U$  – амплитуда первичного сигнала,  $\Omega$  – частота первичного сигнала), а фазовый сдвиг для несущего колебания принять равным нулю, то амплитудно-модулированный (АМ) сигнал можно представить в виде:

$$s_{\text{AM}}(t) = A[1 + M \cos(\Omega t)] \cos(\omega t),$$

где  $M$  – коэффициент, определяющий глубину модуляции  $M \leq 1$

Спектр АМ сигнала состоит из несущего колебания и двух боковых составляющих:

$$s_{\text{AM}}(t) = A \cos(\omega t) + \frac{AM}{2} \cos[(\omega - \Omega)t] + \frac{AM}{2} \cos[(\omega + \Omega)t]. \quad (6)$$

Следовательно, ширина спектра частот, занимаемых АМ сигналом, определяется шириной спектра первичного сигнала, т.е. диапазон частот АМ сигнала равен удвоенному значению верхней частоты спектра первичного колебания. Например, если первичный сигнал имеет диапазон 30 Гц – 10 кГц, то ширина спектра АМ сигнала равна 20 кГц.

## Задачи для самостоятельного решения

**Задача 1.** Определить информационную емкость дискретного сигнала с тактовой частотой  $f$  МГц, амплитуда которого может принимать одно из семи значений с вероятностью  $p_i$ .

Данные к задаче 1		
Варианты	$f$ , МГц	$p_i$
1	4,096	0,05; 0,2; 0,15; 0,1; 0,3; 0,15; 0,05
2	4,087	0,06; 0,3; 0,16; 0,2; 0,4; 0,16; 0,06
3	4,083	0,04; 0,1; 0,14; 0,09; 0,2; 0,14; 0,04
4	4,079	0,03; 0,1; 0,13; 0,09; 0,2; 0,13; 0,03
5	4,095	0,07; 0,5; 0,17; 0,3; 0,4; 0,17; 0,07
6	4,096	0,08; 0,6; 0,18; 0,4; 0,5; 0,18; 0,08
7	4,087	0,09; 0,7; 0,19; 0,5; 0,6; 0,19; 0,09
8	4,083	0,09; 0,6; 0,18; 0,4; 0,5; 0,18; 0,09
9	4, 079	0,03; 0,2; 0,15; 0,1; 0,3; 0,15; 0,03
10	4,095	0,02; 0,09; 0,12; 0,08; 0,1; 0,12; 0,02
11	5,015	0,05; 0,3; 0,16; 0,2; 0,4; 0,16; 0,06
12	5,023	0,06; 0,05; 0,17; 0,3; 0,4; 0,17; 0,06
13	5,036	0,04; 0,2; 0,15; 0,1; 0,3; 0,15; 0,04
14	5,042	0,03; 0,1; 0,14; 0,09; 0,2; 0,14; 0,03
15	5,055	0,08; 0,5; 0,17; 0,3; 0,4; 0,17; 0,08
16	5,038	0,1; 0,8; 0,2; 0,6; 0,7; 0,2; 0,1
17	5,044	0,2; 0,9; 0,3; 0,7; 0,8; 0,3; 0,1

**Задача 2.** Определить максимальное и среднее значения сигнала по напряжению при динамическом диапазоне сигнала  $D$ , дБ, пик-факторе  $Q$ , дБ и минимальном значении  $U_{\min}$ , мВ.

Данные к задаче 2			
Варианты	$D$ , дБ	$Q$ , дБ	$U_{\min}$ , мВ
1	40	20	5
2	60	25	4
3	80	35	3
4	50	18	4
5	40	15	4
6	50	20	3
7	60	25	4
8	50	30	5
9	40	16	3
10	60	22	5
11	80	28	5
12	70	18	4
13	50	14	3
14	80	26	4
15	40	13	4
16	70	19	3
17	50	22	4

**Задача 3.** Показать изменение спектра последовательности прямоугольных импульсов амплитудой  $U$ , В; длительностью импульса  $\tau_{и}$ , мкс и скважностью  $q$ .

Данные к задаче 3			
Варианты	$U$ , В	$\tau_{и}$ , мкс	$q$
1	40	200	5
2	50	200	4
3	60	180	3
4	70	190	4
5	40	150	4
6	50	170	3
7	60	200	4
8	50	160	5
9	40	180	3
10	60	150	6
11	70	180	3
12	50	190	4
13	60	160	4
14	70	170	3
15	40	200	4
16	70	160	6
17	60	180	6

**Список гр. ИНмз-201 по вариантам**

№ варианта	ФИО	№ варианта	ФИО
1	Башкатов Артем	10	Петренко Дмитрий
2	Бондаренко Алина	11	Рахманов Руслан
3	Бородин Руслан	12	Сигов Александр
4	Вязникова Анастасия	13	Сова Юлия
5	Гуринов Алексей	14	Соловьёв Артём
6	Духанин Виктор	15	Трунов Иван
7	Ивашко Антон	16	Шумейко Станислав
8	Касьянов Александр	17	Щедрин Алексей
9	Мамайко Сергей		

## Примеры решения задач

**Задача 1.** Построить спектр последовательности прямоугольных импульсов амплитудой  $U$  50 В, длительностью импульса  $\tau_n$  200 мкс и скважностью  $q$  равной 3.

**Решение.** Используя формулу (1), необходимо найти значения коэффициентов  $a_0$ ,  $a_n$  и  $b_n$ , которые и определяют амплитудный спектр заданной последовательности. Для таких исходных данных (при этом

$$T = q\tau_n), \text{ коэффициенты } a_0, a_n \text{ и } b_n \text{ равны: } a_0 = \frac{2}{T} \int_0^{\tau_n} S(t) dt = \frac{2 \cdot 50}{3 \cdot 200 \cdot 10^{-6}} \times \\ \times \int_0^{200 \cdot 10^{-6}} dt = 33.3 \text{ В}; \quad a_n = \frac{2}{T} \int_0^{\tau_n} S(t) \cos(n\omega t) dt = \frac{2 \cdot 10^6}{600} \int_0^{200 \cdot 10^{-6}} 50 \cos\left(n \frac{2\pi \cdot 10^6}{600} t\right) dt; \\ b_n = \frac{2}{T} \int_0^{\tau_n} S(t) \sin(n\omega t) dt = \frac{2}{3 \cdot 200 \cdot 10^{-6}} \int_0^{200 \cdot 10^{-6}} 50 \cdot \sin\left(n \frac{2\pi}{3 \cdot 200 \cdot 10^{-6}} t\right) dt. \quad \text{Спектр}$$

определяется, как:  $S_n = \begin{cases} a_0, & \text{при } n = 0 \\ \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, & \text{при } n > 0 \end{cases}$ . Используя полученные

выражения и вычисляя значения функции  $S_n$  построим спектр исследуемой последовательности (рис. 1).

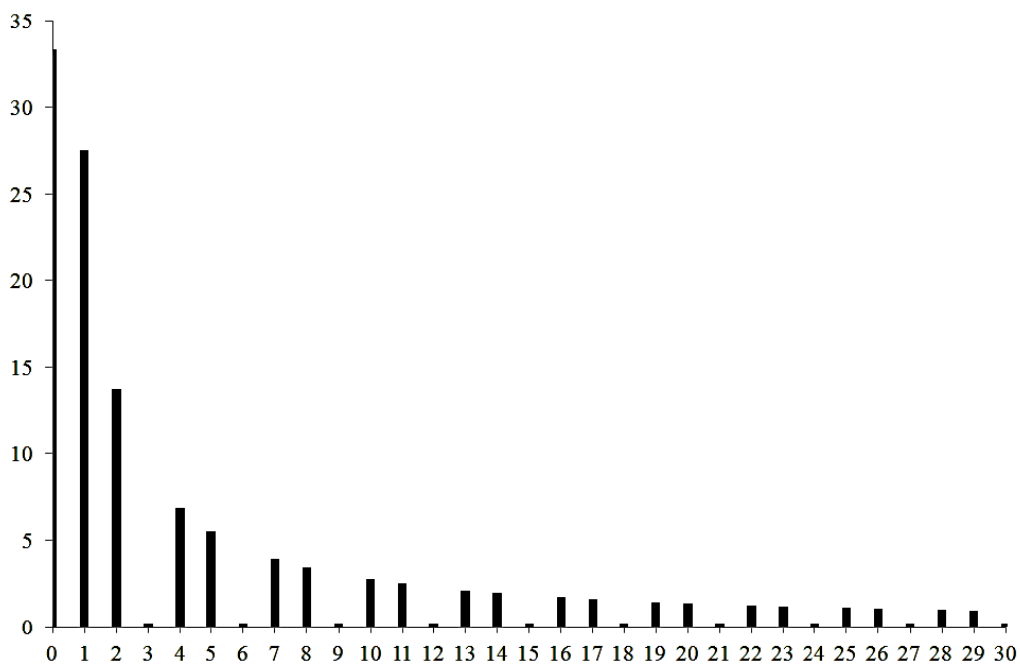


Рис. 1. Спектр последовательности прямоугольных импульсов (зависимость амплитуды гармоники от ее номера)

**Задача 2.** Определить информационную емкость аналогового сигнала при верхней частоте спектра  $f_{\text{в}}$  3400 Гц и отношении сигнал/шум 30 дБ.

**Решение.** В соответствии с (4), для нахождения информационной емкости аналогового сигнала необходимо вычислить отношение сигнал/шум в размах. Для этого, учитывая  $p = 10 \lg \left( \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right)$ , определим

отношение сигнал/шум в размах:  $\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} = 10^{\frac{30}{10}} = 1000$ . Тогда, информационная

емкость будет равна:  $I = 3400 \cdot \log_2(1 + 1000) = 33888.6$  бит/с.